



L'OBSERVATOIRE DES BATIMENTS EXEMPLAIRES EN REGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Retours d'expériences en rénovation

Cette étude a pour objectif de présenter un retour d'expérience sur les rénovations de bâtiments tertiaires et de logements collectifs référencés sur l'Observatoire des bâtiments exemplaires en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Janvier 2023 | www.observatoirebbc.org/paca

Sommaire

1. L'Observatoire des Bâtiments Exemplaires	3
2. Périmètre de l'étude	5
3. Confort d'été	8
4. Enveloppe	11
5. Equipements	16
6. Performance énergie-carbone en exploitation	20
7. Bouquets de travaux	23
8. Données économiques	25
9. Les bâtiments exemplaires	28



Rénovation et Extension - Le Manier | Architecte : Solari et associés - Marseille (13)

L'Observatoire des Batiments Exemplaires

Un outil pédagogique 2.0

La Région sud et la direction régionale de l'Ademe en région Provence-Alpes Côte d'Azur souhaitent prendre part aux engagements pris par la France, afin que le territoire et ses acteurs contribuent aux objectifs nationaux et internationaux en matière d'énergie et de climat.

Pour le secteur du bâtiment, le territoire régional se caractérise par un parc ancien qui se renouvelle lentement. L'enjeu environnemental est donc de soutenir les travaux de rénovation et de construction les plus pertinents techniquement et financièrement, tout en développant les métiers et les compétences.

L'observatoire régional permet un retour d'expériences sur des bâtiments permettant de répondre à ces enjeux, et fournit des outils mis à disposition en accès libre.

Il contribue également à répondre aux orientations principales ciblées par la Région et la Direction Régionale de l'ADEME, à savoir:

- Porter une attention particulière à la qualité thermique et environnementale des constructions neuves
- Réhabiliter les bâtiments existants en ciblant les bâtiments les plus énergivores
- Lutter contre la précarité énergétique
- Favoriser le développement des compétences et la coordination des professionnels de la filière du bâtiment

Un périmètre

- L'ensemble des bâtiments répondant aux critères régionaux d'exemplarité
- Des lauréats d'appels à projets soutenus par la Région et/ou la Direction Régionale de l'ADEME
- Des bâtiments impliqués dans la démarche d'Envirobot BDM
- Des projets certifiés, ayant reçu un label Effinergie
- D'autres bâtiments présentant une spécificité environnementale ou innovante

Des objectifs

- Accompagner la généralisation des bâtiments durables et la massification de la rénovation
- Valoriser les pratiques exemplaires et le savoir-faire des professionnels à l'échelle régionale
- Promouvoir le tissu économique régional
- Favoriser l'expérimentation et l'innovation

Des outils

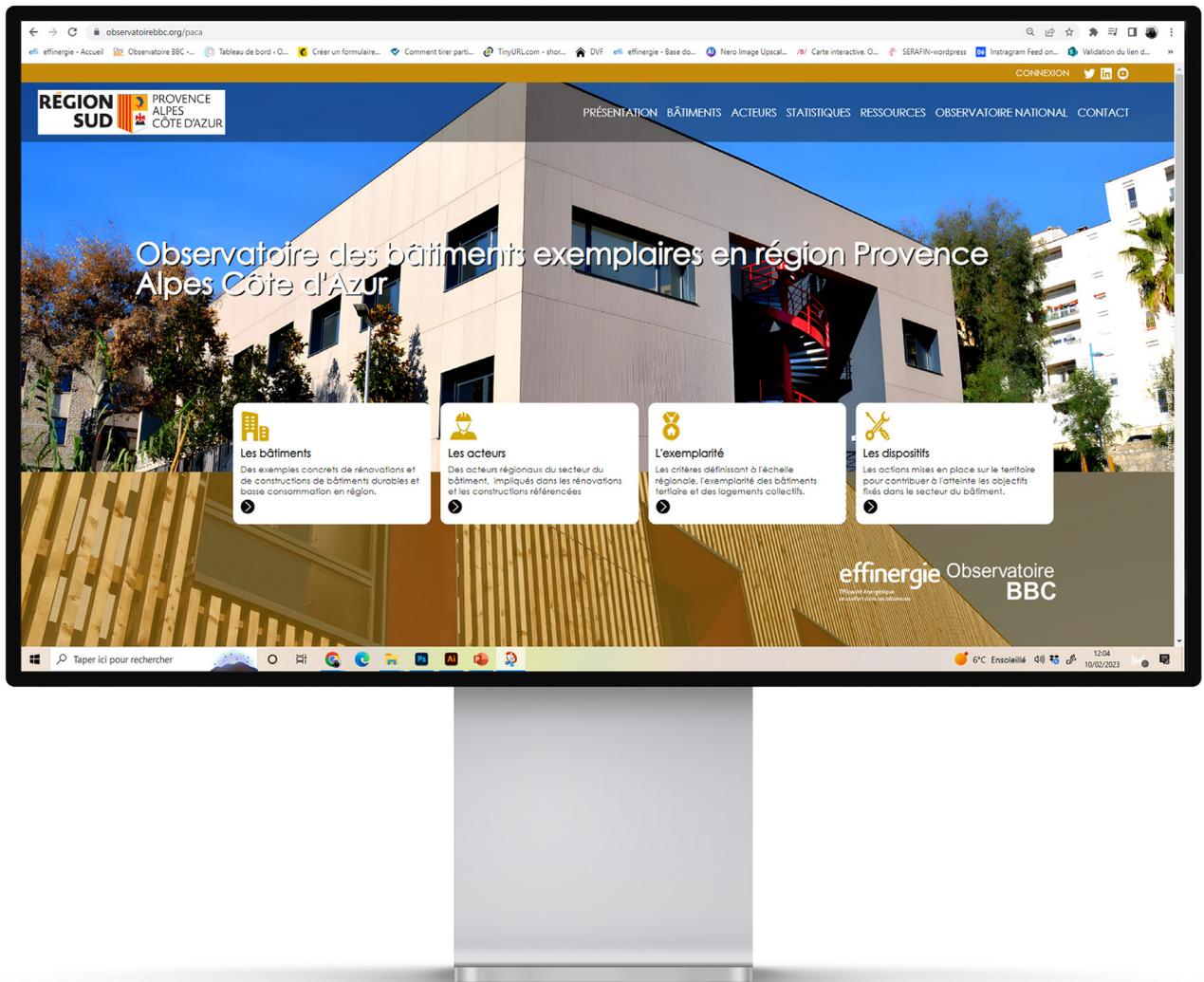
- Des fiches de retour d'expérience d'opérations détaillant les solutions technico-économiques de chaque bâtiment
- Une cartographie d'acteurs du bâtiments impliqués sur le territoire régional
- Un outil interactif analysant la dynamique des labels Effinergie à différentes échelles territoriales
- Une étude dédiée aux bâtiments exemplaires de la région et un descriptif du cadre d'exemplarité régional
- Une base documentaire rassemblant des guides et des études
- Un référencement des aides régionales dédiées aux secteurs de la rénovation et de la construction durable

161 Projets
Etudiés et présentés au travers de fiches opérations

313 Acteurs
Référéncés et valorisés

Des partenaires





L'Observatoire est un outil

- De valorisation des politiques énergétiques régionales du bâtiment
- D'évaluation et de pilotage à l'échelle régionale, départementale, voire communale permettant de fixer les exigences des futures aides régionales intégrées aux référentiels des appels à projets
- De promotion des démarches régionales
- De mise en réseau et un vecteur de coopération entre les acteurs locaux (Centre de ressources, Agence Locale de l'Energie, Professionnels, ...)
- De capitalisation pour les acteurs institutionnels à l'échelle régionale
- De valorisation des professionnels



2. Périmètre de l'étude

Les données sources

Ce rapport propose un retour d'expérience sur la rénovation de bâtiments dont les données ont été référencées sur l'observatoire des bâtiments exemplaires en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur durant la période 2016 – 2022.

Cet Observatoire, créé par l'Association Effinergie, co-financé par la Direction Régionale de l'ADEME et la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, en partenariat avec l'association Envirobat BDM a pour objectifs :

- D'identifier les innovations utilisées dans les projets référencés,
- D'analyser les solutions techniques mises en œuvre,
- De promouvoir les acteurs de la filière du bâtiment s'engageant dans des démarches exemplaires,
- D'établir des tendances technico-économiques.

Les données techniques, économiques et administratives ont été collectées auprès de différents acteurs.

Ainsi, les données techniques et administratives ont été communiquées par les organismes certificateurs ou par la Région et la Direction Régionale de l'ADEME.

Les données économiques ont été demandées auprès de certains acteurs du projet (maîtrise d'ouvrage, économiste de la construction, architecte) et des partenaires de l'Observatoire régional.

Une partie de la saisie des projets a été réalisée avec le soutien de l'association Envirobat BDM.

Les cibles

Cette étude s'adresse à l'ensemble des acteurs de la filière du bâtiment.

Limite de l'étude

Cette étude propose une photographie des rénovations de bâtiments sur un périmètre défini à un instant donné. Elle apporte un éclairage sur le marché de la rénovation à l'échelle régionale sans pour autant être représentative de l'ensemble des projets rénovés en France et en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

L'étude se focalise sur les bâtiments certifiés ou en cours de certification, engagés dans la démarche BDM, ou lauréats d'appels à projets en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il se focalise sur les logements collectifs et les bâtiments tertiaires ayant pour objectif d'atteindre à minima le niveau BBC Effinergie Rénovation.

Les bâtiments étudiés

L'Observatoire régional référence 161 bâtiments et 22 projets de rénovation de logements collectifs et de bâtiment tertiaires sont répertoriés.

L'échantillon de l'étude se compose de :

- 9 bâtiments rénovés dans le cadre d'un appel à projet régional
- 14 bâtiments certifiés ou en cours de certification en lien avec un label Effinergie
- 11 bâtiments engagés dans une démarche BDM
- Des bâtiments peuvent appartenir à plusieurs des familles de

projets mentionnés ci-dessous :

- 8 projets ont bénéficié d'un appel à projet régional et sont engagés dans une démarche BDM
- 1 projet a bénéficié d'un appel à projet régional, est certifié dans le cadre d'un label Effinergie, tout en étant engagé dans une démarche BDM
- 4 projets sont engagés dans une démarche BDM et certifié ou en cours de certification dans le cadre d'un label Effinergie.

De manière générale, 43% des projets sont sous maîtrise d'ouvrage privé et 57% sous maîtrise d'ouvrage publique.

Les projets étudiés sont repartis dans l'ensemble des départements de la région, avec une prédominance de projets situés dans les Bouches-du-Rhône, puis dans les Alpes-de-Haute-Provence et le Var



Figure 2 Répartition géographique de l'ensemble des projets au sein des départements de la région Sud

En logements collectifs, 9 projets regroupant près de 389 logements répartis sur 34 367 m² sont référencés (88 m² par logement).

Ces bâtiments sont répartis sur 5 des 6 départements de la région (aucun bâtiment n'est situé dans le Vaucluse). 78% des opérations étudiées sont issues d'un label Effinergie (n=7/9), 22% des appels à projets régionaux (n=2/9) et 33% sont engagés dans une démarche BDM (n=3/9).



Figure 3 : Rénovation résidence la petite savine - Architecte : Soisick Cleret Architecte

Dans le secteur tertiaire, 13 projets regroupant près de 33 486 m² sont référencés. Ces bâtiments sont répartis sur 4 des 6 départements de la région (pas de bâtiment situé dans les Hautes-Alpes et les Alpes-Maritimes), avec un nombre important de projets situés dans les Bouches du Rhône (n=6/13), puis dans les Alpes-de-Haute-Provence et dans le Var (n=3/13).

54% des opérations étudiées sont issues d'un label Effinergie (n=7/13), 54% des appels à projets régionaux (n=7/13) et 54% sont engagés dans une démarche BDM (n=7/13).

Les bâtiments tertiaires étudiés sont majoritairement à usage de bureaux (n=7/13), la répartition des autres usages des bâtiments est décrite dans la Figure 5.

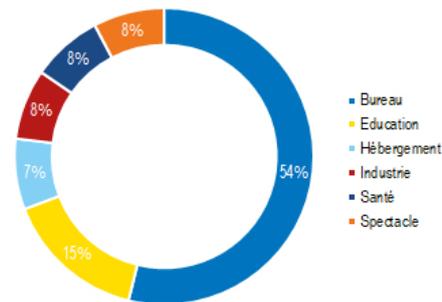


Figure 5 : Répartition des usages des bâtiments tertiaires étudiés



Figure 4 : Rénovation - Espace culturel l'Etoile – Architecte : D+P Architectes - Saint Rémy de Provence (13)



Figure 1 : Rénovation de l'ancienne gendarmerie en Centre Médico-Social - Architecte : R+4 Architectes - Forcalquier (04)



3. Confort d'été

Avant-propos

Le réchauffement climatique génère des épisodes de surchauffe de plus en plus fréquents avec des pics de température plus élevés et plus long.

Les bâtiments référencés s'appuient sur les principes de la conception bioclimatique tout en favorisant la sobriété et l'efficacité énergétique. Nous détaillons ici les solutions proposées par les équipes projets pour éviter les surchauffes estivales ou à mi-saison lorsque les apports solaires gratuits sont optimisés pour l'hiver, que l'étanchéité à l'air et l'isolation de l'enveloppe sont renforcées.

Les Simulation Thermique Dynamiques

Un outil pour optimiser le confort d'été

Pour assurer un bon confort d'été un sein d'un bâtiment, il est important d'étudier les leviers à actionner, et de quantifier leurs effets. Pour cela, des simulations thermiques dynamiques (STD) peuvent être réalisées par des bureaux d'étude afin de confirmer les choix de gestion thermique et du confort d'été.

Parmi le panel de bâtiments étudiés, 4 projets ont réalisé une STD en amont de la phase de réalisation afin de guider les choix des maitres d'ouvrages an matière de confort d'été : Le Marmotel situé à Praloup (04), le bâtiment Le Manier situé à Marseille (13), la Maison de la Nature de Cavalaire-Sur-Mer (83) et l'Espace culturel l'Etoile de Châteaurenard (13).

Agir sur la ventilation nocturne

Impact sur la température : 1 à 4,5°C

L'objectif de la sur-ventilation nocturne est d'utiliser la fraîcheur de la nuit pour évacuer les calories accumulées dans la journée. Elle peut être réalisée en ouvrant les fenêtres de deux faces opposées afin de créer un courant d'air, ou en augmentant les débits de ventilation de la ventilation afin de renouveler plus rapidement l'air intérieur.

La STD réalisée en amont du projet de réhabilitation de l'ancienne usine de traitement de déchet en maison de la nature de Cavalaire-Sur-Mer (83), indique que la salle de conférence et la salle d'exposition sont les deux zones où le nombre d'heure d'inconfort où la température dépasse 28°C est le plus élevé. Bien que cela engendre une augmentation de la consommation de la ventilation, la STD permet d'identifier que la sur-ventilation nocturne mécanique de mi-mai à fin juin et en septembre, permet d'abaisser la température d'inconfort à 40h par an pour la salle d'exposition et à 30h par an pour la salle de conférence.

Il en va de même pour la STD du projet de Le Manier situé à Marseille (13) qui pointe le rôle de la sur ventilation nocturne parmi les facteurs permettant d'abaisser le taux d'inconfort estival. En complément une tour à vent du bâtiment a été réhabilitée afin qu'une ventilation naturelle contribue également au confort estival.

Les protections solaires

Impact sur la température : 1 à 3,5°C

Les facteurs qui influencent la température intérieure sont la surface totale des vitrages, leurs orientations et leurs occultations. Certaines orientations favorisent les apports solaires en hiver mais nécessitent une gestion des rayonnements solaires en période estivale. A noter, en préalable, que les stores ou rideaux intérieurs permettent de

filtrer l'entrée des rayons lumineux mais n'améliorent pas le confort thermique.

Il est donc pertinent que des occultations extérieures soient amovibles durant la journée. A titre d'exemple, l'Hôtel Poste Colbert à Marseille (13), bénéficie de protections solaires mobiles sur l'ensemble des menuiseries exposées (voir Figure 6), via des volets en bois ou des Brise-Soleil Orientables (BSO).

Un scénario de la STD du projet Le Manier situé à Marseille (13), inclue notamment une occultation à 50% en journée, montrant l'effet bénéfique sur le taux d'inconfort estival qui est abaissé. Dans le cas d'occultations non fixe, il existe un risque de mésusage qu'il peut être pertinent de minimiser. Dans le cas du projet de la maison de la nature de Cavalaire-Sur-Mer (83), la STD a permis d'étudier l'impact d'usages défavorables lié notamment à la non utilisation des protections solaires et a mené au rajout des attentes pour des brasseurs d'air et à l'approfondissement de l'accompagnement des utilisateurs pour un meilleur confort par une Assistance à maitrise d'Usage (AMU).

Des occultation fixes (casquettes, etc.) peuvent également contribuer au confort d'été. C'est par exemple le cas de l'espace culturel l'étoile, situé à Châteaurenard (13) qui bénéficie de brises soleil fixes sur les baies exposées entre le sud-est et le sud-ouest.

D'autres types de protection solaire peuvent venir compléter l'installation de casquette. C'est le cas dans le projet de la maison de la nature de Cavalaire-Sur-Mer (83), pour lequel la STD indiquait dès la phase de conception que les effets des casquettes au-dessus des châssis fixes complétés par une pergola en façade sud pouvait permettre de limiter les apports solaires et de réduire la montée en température de la pièce pour laquelle le nombre d'heure d'inconfort estival de ce bâtiment est le plus élevé (la salle d'exposition).



Figure 7 : Restaurant Le Présage – Architecte : Solari Architectes – Marseille (13)

Les charges internes

Impact sur la température : 1 à 3°C

Les apports de chaleurs induits par les équipements et/ou le nombre de personnes influencent la perception du confort d'été.

A titre d'exemple, dans le cadre du projet de la réhabilitation de l'ancienne usine de traitement de déchet en maison de la nature de Cavalaire-Sur-Mer (83), le bureau d'étude a pris en compte dans la STD les apports liés à l'éclairage, au matériel électriques (écrans TV, ordinateurs, fours, réfrigérateurs, etc.), dans des scénarios incluant le nombre d'occupants de chaque salle du bâtiment, en fonction des jours et des horaires.

Pour le projet de la maison de la nature de Cavalaire-Sur-Mer (83), la STD a permis d'étudier l'impact d'usages défavorables incluant notamment les équipements de cuisson (en plus de la non utilisation de protection solaire citée précédemment). Cela conduit la maîtrise d'ouvrage à rajouter des attentes pour des brasseurs d'air et à approfondir l'accompagnement des utilisateurs par une AMU.

Il est donc intéressant d'interroger en amont les futurs usagers sur les équipements qui seront utilisés (tableaux numériques, vidéoprojecteurs, ordinateurs, etc.). L'accompagnement et la sensibilisation des usagers à la bonne utilisation des équipements en période chaude demeurent indispensables pour limiter les apports internes.

Par ailleurs, l'organisation des locaux en fonction des usages permettra dès la conception de séparer les espaces générant des charges internes et les lieux de vie.

L'inertie du bâtiment

Impact sur la température : 1 à 2,5°C

Un bâtiment construit avec des matériaux denses (murs, dalles béton, plancher, cloisons,) induit des transferts de température entre l'extérieur et l'intérieur décalés dans le temps. C'est le cas de bâtiments conçus avec des matériaux lourds de type béton, briques pleines, terre crue. Cependant, le transfert de chaleur n'est pas supprimé mais décalé.

Il n'est pas fréquent que l'inertie soit améliorée significativement en rénovation. Cependant, parmi les projets du panel étudié dont l'inertie avant et après travaux est connue, trois ont bénéficiés d'une amélioration de l'inertie.

Les projet Now Marseille (13) est passé d'une inertie légère à une inertie moyenne, notamment en isolant l'ensemble des parois opaques (toiture, plancher bas, murs). Deux projets de rénovation sont par ailleurs passé d'une inertie moyenne à une inertie lourde : la Bastide haute située à Salon de Provence (13) et les logements du collège Esterel Saint Raphael (83).

Par ailleurs, quatre bâtiments étudiés bénéficient d'une inertie très lourde. Le Clos Manon de Six Fours (83) possède des murs en pierre ferme et demi-ferme de 40 cm d'épaisseur. Une chappe de béton de 7 cm installée pour le plancher chauffant apporte une inertie complémentaire. Le collège Maxime Javelly de Riez (04) possède des murs en parpaings de 20 cm et 10 cm séparés par une lame d'air de 5 cm et isolés par l'extérieur avec 20 cm de laine de roche. De plus, ces bâtiments ont bénéficié de toitures végétalisées par des plantes méditerranéennes, qui apportent de l'inertie et améliore le confort estival en plus de recréer une continuité écologique. La résidence Micocoulier atteint une inertie très lourde grâce à des murs en béton et une toiture terrasse de 20 cm isolés par l'extérieur qui contribuent à conférer une bonne inertie thermique au bâtiment. Enfin, le cas du Presbytère de Puy Sanières (05) est intéressant car il est construit en structure bois, contrairement aux projets cités ci-dessus qui ont des murs en matériaux lourds (béton, pierre, parpaing). Leurs isolations par 24 cm de fibre de bois contribuent à l'inertie de ces parois, tout comme le plancher bas sur terre-plein composé d'une dalle de béton de 9 cm.

Le revêtement des parois

Impact sur la température : 1 à 1,5°C

La couleur et l'état de surface d'une façade extérieure ou du sol influencent l'absorption des rayonnements solaires. En effet, plus la

surface est rugueuse, plus sa capacité d'absorption sera importante (enduit strié par exemple).

Par ailleurs, le traitement des vitrages peut permettre d'abaisser les températures intérieures. Des vitrages solaires permettant de diminuer la transmission calorifique totale, tout en garantissant une transmission lumineuse (spectre visible) importante

La nature de l'isolant

Impact sur la température : jusqu'à 1°C

Le choix de l'isolant peut influencer le confort de l'utilisateur. En effet, si en hiver, l'isolant doit avoir une conductivité thermique faible et une épaisseur suffisante, il devra, en été, grâce à sa capacité thermique élevée, lui permettre de stocker des calories sans s'échauffer. Par ailleurs, la densité de l'isolant n'aura qu'un impact marginal sur le confort d'été.

Une partie du bâtiment Le Manier situé à Marseille (13) bénéficie du déphasage de la laine de bois, installée sur une épaisseur de 12 cm dans le cadre d'une isolation par l'extérieur, permettant une régulation thermique plus performante.

En dernier recours

Ajout d'un système de rafraîchissement

Des porteurs de projets font le choix d'installer un système de refroidissement actif, en complément aux mesures citées ci-dessus. Afin d'éviter une sur consommation en période estivale, il s'agit alors d'opter pour des solutions performantes d'un point de vue énergétique.

A titre d'exemple, Le projet Le Manier situé à Marseille (13) bénéficie de rafraîchissement peu consommateur de type adiabatique, lié à un système de ventilation naturelle assistée.

En ce qui concerne l'espace culturel l'étoile situé à Chateaurenard (13), le choix d'un rafraîchissement actif a été fait du fait de l'occupation des locaux pouvant accueillir jusqu'à 1 200 personnes dans la salle principale. Un refroidissement y a donc été considéré comme indispensable suite à une étude de l'inconfort estival. Le maître d'ouvrage a fait le choix d'installer une PAC alimentée par un forage sur eau de nappe avec un coefficient Energy Efficiency Ratio (EER) nominal performant de 4,33.



4. Enveloppe

Murs

Premier enseignement : Un panel de matériaux de construction majoritairement constitué de béton et de pierre.

Les bâtiments issus de notre étude (n=22) ont été construits principalement en béton (45%) et en pierre (36%). A l'échelle nationale, les constructions en béton sont largement majoritaires (62%) devant les bâtiments en briques (18%) et en ossature bois (17%). La forte présence de bâtiments en pierre et la sous-représentation de bâtiments en ossature bois et en brique est donc une spécificité du panel analysé dans cette étude menée à l'échelle régionale.

Cette clé de répartition est légèrement influencée par l'origine du projet, certifié (ou en cours de certification) ou engagé dans une démarche régionale (appel à projet, démarche BDM). En effet, la part des constructions en béton est majoritaire dans les projets uniquement certifiés (n=6/10) devant la pierre (n=3/10) alors que la pierre est le matériau le plus présent dans les projets en lien avec une démarche régionale (n=5/12), devant le béton (n=4/12). De plus les seuls bâtiments en ossature bois et en brique proviennent de projets liés à une démarche régionale (n=1 dans les deux cas).

Deuxième enseignement : Tous les bâtiments bénéficient d'une isolation de leurs murs extérieurs à l'issue des travaux, la répartition est équilibrée entre isolation par l'intérieur et isolation par l'extérieur. Seule la Résidence Micocoulier (13) n'a pas bénéficié de travaux d'isolation des murs extérieurs, car ce poste de travaux avait déjà été traité au préalable. Au final, 55% des bâtiments étudiés ont une isolation par l'intérieur et 45% d'une isolation par l'extérieur.

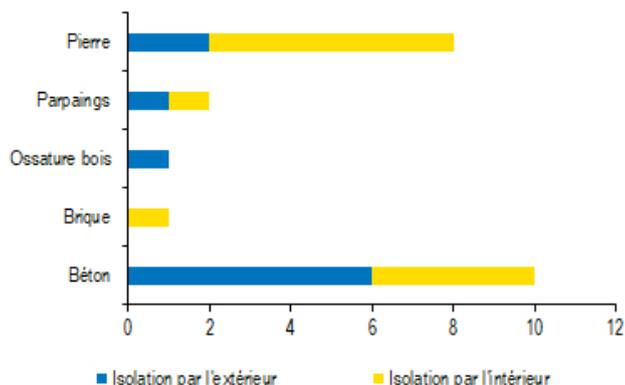


Figure 9 : Répartition des types d'isolation en fonction du matériau de construction

Troisième enseignement : le type d'isolation dépend du matériau de construction et par conséquent de la typologie du bâtiment.

En ce qui concerne les deux systèmes constructifs les plus représentés, les bâtiments en béton sont majoritairement isolés thermiquement par l'extérieur (60% d'ITE) et ceux en pierre sont très majoritairement isolés par l'intérieur (80% d'ITI). Le seul bâtiment en brique est isolé par l'intérieur alors que l'unique bâtiment en ossature bois est isolé par l'extérieur.

On n'observe pas de double isolation (ITI+ITE) mais 3 des 8 bâtiments ayant des parois verticales secondaires distinctes, ont également une isolation d'un type différent que celle de leur paroi principale.

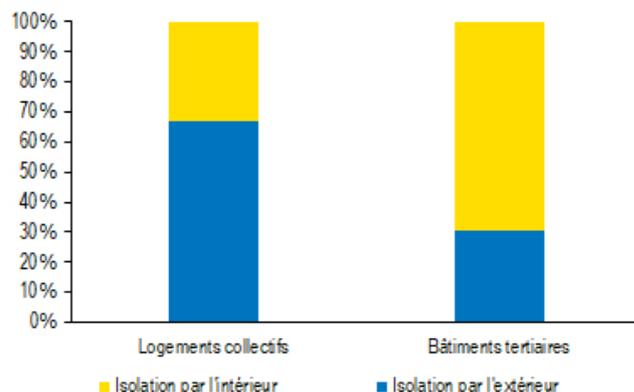


Figure 10 : Répartition du type d'isolation en fonction de la typologie des bâtiments

Par ailleurs, on constate que les logements collectifs bénéficient majoritairement d'une ITE (66%) alors que les bâtiments tertiaires bénéficient majoritairement d'une ITI (69%). Ce cela est une conséquence du fait que les systèmes constructifs de ces deux typologies de bâtiments varient. En effet, les principaux systèmes constructifs sont respectivement le béton (55% des logements collectifs) et la pierre (46% des bâtiments tertiaires).

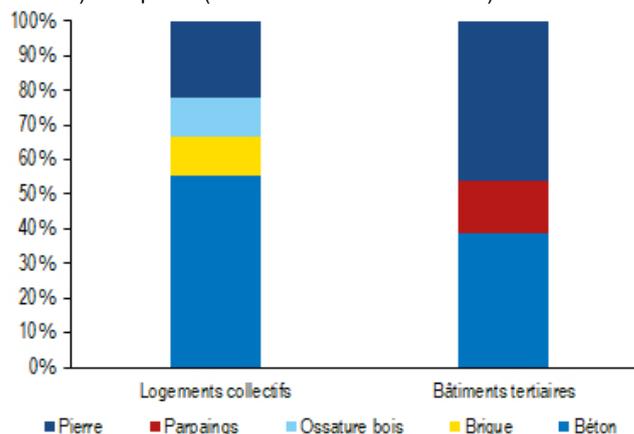


Figure 11 : Répartition du matériau du mur principal en fonction de la typologie des bâtiments

Quatrième enseignement : Des isolants majoritairement d'origine minérale et pétro-sourcé, malgré une diversité de matériaux utilisés. Les deux matériaux les plus utilisés sont le plastique alvéolaire (polyuréthane, polystyrène) à hauteur de 32% et les laines minérales (laine de verre, laine de roche) à hauteur de 27%. On note la présence de fibre de bois, de chanvre et de liège dans au total 23% des projets.

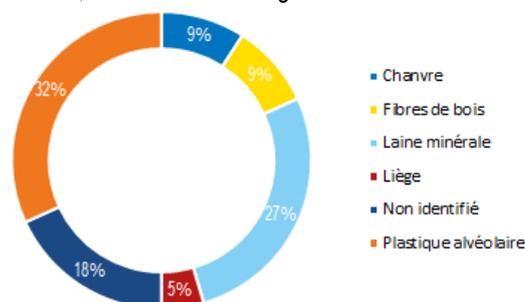


Figure 12 : Répartition du matériau utilisé comme isolant principal des murs

La Figure 13 montre que l'influence du type d'isolation (ITI, ITE) n'est pas significative sur le matériau de l'isolant des murs. La seule différence est la présence de chanvre comme isolant dans le cadre de deux bâtiments isolés par l'intérieur. Des briques de chanvre ont été utilisées dans le bâtiment Le Manier (13) et du chanvre allié à du lin et du coton a permis d'isoler les murs du Siège Parc Naturel Régional des Alpilles (13).

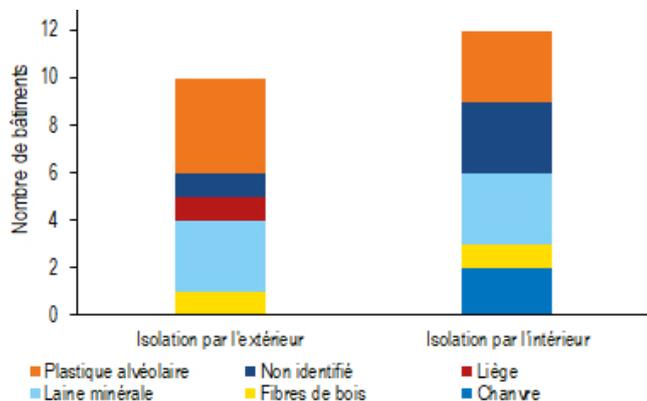


Figure 13 : Isolants mis en œuvre suivant les types d'isolation

Cinquième enseignement : la source de l'opération (certifié ou démarche régionale) est déterminante dans la nature des isolants : Le taux d'utilisation de matériaux biosourcé varie en fonction de l'origine du projet.

Les solutions à base de matériaux biosourcés (fibres de bois, chanvre, liège) sont uniquement utilisées dans les projets non certifiés mais incluses dans une démarche régionale où elles représentent 5 des 8 projets.

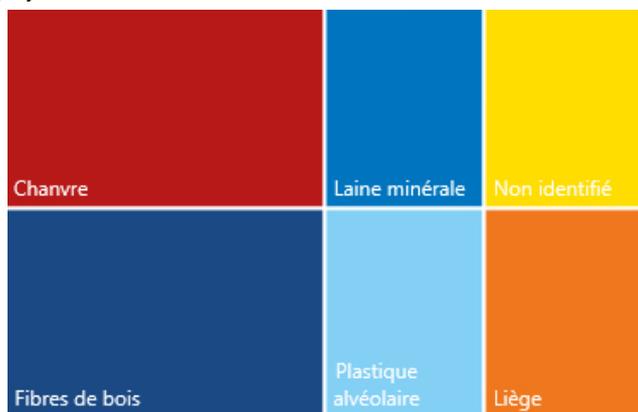


Figure 14 : Répartition des isolants mis en œuvre pour les projets uniquement engagés dans une démarche régionale

A l'inverse, l'ensemble des murs extérieurs des bâtiments issus de certifications sont isolés avec de la laine minérale (n=5/14) ou du plastique alvéolaire (n=6/14), aucun matériau biosourcé n'y est répertorié comme isolant principal des murs.

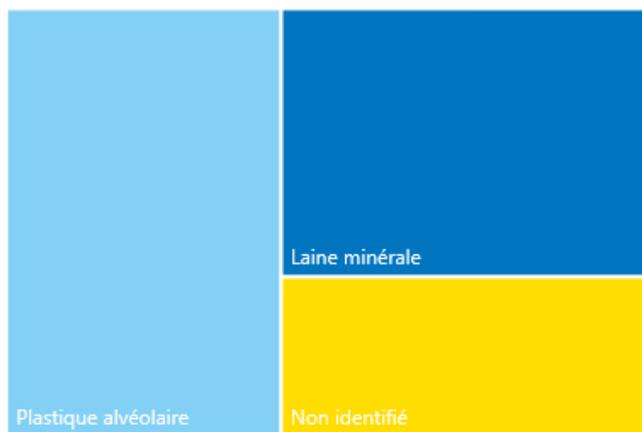


Figure 15 : Répartition des isolants mis en œuvre pour l'ensemble des projets certifiés ou en cours de certification

Sixième enseignement : La résistance moyenne de la paroi principale passe de 1,1 m².K/W avant travaux à 4 m².K/W. Dans le cas d'ITI, la résistance moyenne atteinte après travaux est similaire dans le cas de logements collectifs (R=4 m².K/W n=9) et de

bâtiments tertiaires (R=3,9 m².K/W n=13). En revanche, dans le cas d'ITE, la performance atteinte après travaux des bâtiments tertiaires étudiés (R=5,1 m².K/W) est sensiblement supérieure à celle des logements collectifs (R=3,4 m².K/W).

Type d'isolation	N	Logement collectif		Bâtiment tertiaire	
		Résistance moyenne (m ² .K/W)			
		Avant travaux	Après travaux	Avant travaux	Après travaux
Tous	22	1,1	3,6	1,2	4,3
ITI	12	0,5	4	1,3	3,9
ITE	10	1,3	3,4	1	5,1

Figure 16 : Résistance des murs extérieurs en logements collectifs

Toitures

Premier enseignement : Dans le panel de bâtiment étudiés, les combles perdus et les rampants (n=7/10) sont majoritairement présents dans les bâtiments tertiaires, alors que les toitures terrasses (n=6/11) sont majoritairement présentes dans les logements collectifs.

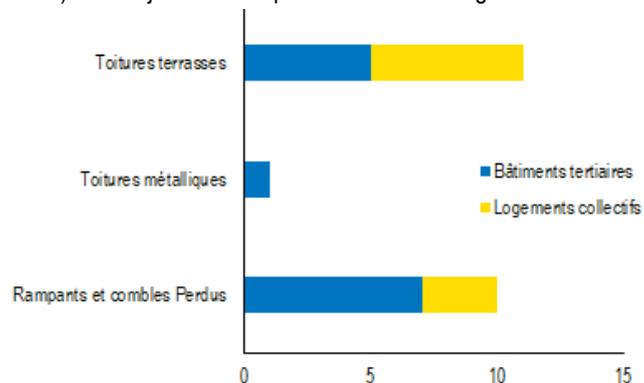


Figure 17 : Typologies des bâtiments en fonction des types toitures

Deuxième enseignement : des isolants uniquement non biosourcés sont utilisés pour les toitures terrasses, alors que la moitié des isolants mis en œuvre sont biosourcés pour les rampants et les combles perdus.

En effet, dans le panel d'isolants identifiés, de la laine minérale (n=3/11) et du plastique alvéolaire (n=6/11) sont mis en œuvre pour isoler les toitures terrasses. Les isolants mis en place dans les rampants et les combles perdus sont plus diversifiés où en plus de la laine de verre (n=3/10), des matériaux biosourcés sont également utilisés : fibre de bois (n=3/10) et ouate de cellulose (n=2/10). Le plastique alvéolaire n'est pas mis en œuvre

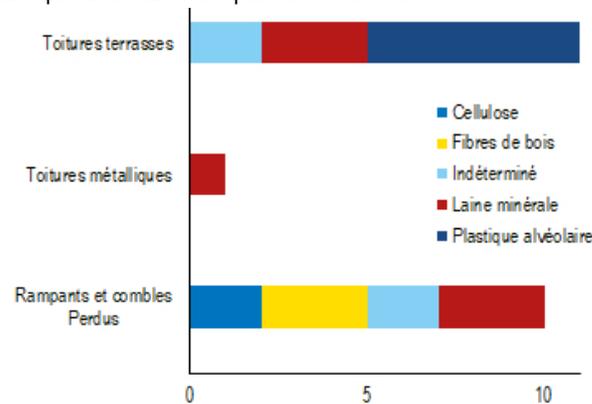


Figure 18 : Isolants mis en œuvre en fonction des types toitures

Les écomatériaux sont mis en œuvre dans 28% des toitures dont l'isolant a été identifié (n=5/18). La grande majorité des projets dont la toiture est isolée à base de matériaux biosourcés provient de bâtiments issus d'une démarche régionale (n=4/5).

Troisième enseignement : La résistance moyenne de la toiture principale des logements collectifs est de 7,3 m².K/W. Elle varie en fonction du type de toiture.

La résistance moyenne est de 8 m².K/W pour les rampants et les combles perdus, contre 6,6 pour les toitures terrasses.

L'isolation des toitures permet un gain de 74% sur la résistance thermique entre l'état initial et après la réalisation des travaux, l'épaisseur de l'isolant posé est d'en moyenne 26 cm.

Type de toiture	N.	R moyen (m ² .K/W)	R min. (m ² .K/W)	R max (m ² .K/W)
Tous	22	7,3	5,0	11,1
Rampants et combles Perdus	10	8,0	5,6	11,1
Toitures métalliques	1	7,7	7,7	7,7
Toitures terrasses	11	6,6	5,0	9,1

Figure 19 : Résistances des toitures

Planchers bas

Premier enseignement : Une majorité de bâtiments ont un plancher bas sur terre-plein.

En effet, 55% des dalles des planchers bas donnent sur un terre-plein (n=12/22). En parallèle, une grande diversité de solutions a été proposée (vide sanitaire, sous-sol, parking, et autres planchers bas non identifiés).

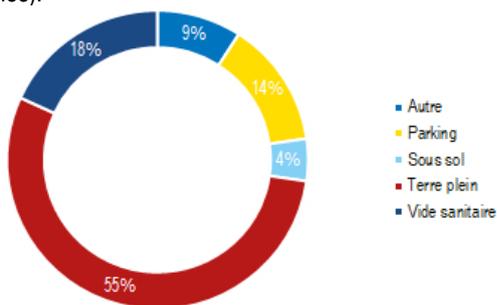


Figure 20 : Répartition des différents types de planchers bas

Deuxième enseignement : L'information sur le type d'isolant utilisé est disponible dans peu de projets (n=4/22), ces planchers bas dont l'isolant a été identifié ont été isolés par des matériaux non biosourcés. Pour ces projets, du plastique alvéolaire (polyuréthane) ou de la laine minérale ont été posé soit sous chape dans le cas d'un plancher bas sur terre-plein et d'un plancher bas sur vide sanitaire, soit en sous face dans le cas d'un plancher bas sur parking et d'un plancher bas sur vide sanitaire.

Troisième enseignement : La résistance moyenne des planchers bas est de 3,1 m².K/W. Elle varie en fonction du type de plancher. La variabilité des résistances des planchers bas est plus importante que pour les murs et les toitures, du fait que pour certain projets ce poste de travaux n'est pas traité.

Type de toiture	N.	R moyen (m ² .K/W)	R min. (m ² .K/W)	R max (m ² .K/W)
Tous	21	3,1	0,5	7,1
Parking	3	3,7	2,9	4,2
Sous-sol	1	7,1	7,1	7,1
Terre-plein	11	3,0	0,8	6,3
Vide sanitaire	4	2,7	1,0	4,0
Autre	2	1,1	0,5	1,8

Figure 21 : Résistances des planchers bas

Baies vitrées

Premier enseignement : La totalité des baies mises en place sont composées de doubles vitrages, aucun triple vitrage n'a été répertorié au sein des projets étudiés.

Ces doubles vitrages sont principalement de type 4/16/4 avec lame d'argon et faible émissivité. Leur performance varie de U_w = 1 à 2 W/m².K, et atteint en moyenne U_w = 1,5 W/m².K.

N.	U _w moyen (W/m ² .K)	U _w min (W/m ² .K)	U _w max (W/m ² .K)
22	1,5	1,0	2,0

Figure 22 : U_w des fenêtres

Deuxième enseignement : Les menuiseries sont principalement en aluminium et en bois.

En effet, 55% des fenêtres sont en aluminium à rupteurs de ponts thermiques (n=10/22) et 36% sont en bois (n=8/22). Les menuiseries en PVC ne représentent que 18% des projets (n=4/22).

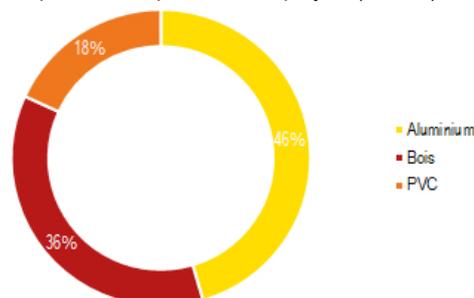


Figure 23 : Types de menuiseries présentes

Le contraste est important avec les projets référencés sur l'observatoire au niveau national, dans le cadre de labellisation Effinergie : ces derniers sont majoritairement équipés de menuiseries en PVC.

Troisième enseignement : Le matériaux mis en place pour les fenêtres est influencé par l'origine des projets (certifié ou lié à une démarche régionale), et par la typologie des bâtiments (tertiaire ou résidentiel)

En effet, 75% des bâtiment équipés de fenêtres en bois (n=6/8) sont issus de projets liés à une démarche régionales. Les projets en cours de certification ou certifié sont majoritaires dans pour le PVC (n=3/4) et l'aluminium (n=9/10).

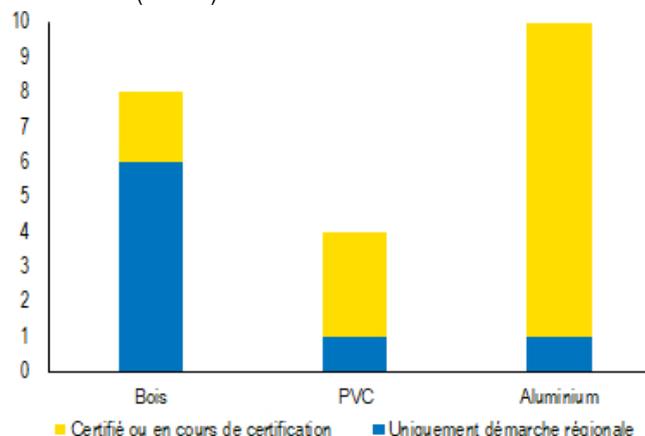


Figure 24 : Matériaux des fenêtres en fonction de l'origine des projets

Cela explique le contraste mentionné dans le deuxième enseignement, à savoir la différence observée entre les matériaux mis en place dans le panel de cette étude, et les matériaux mis en place pour les bâtiments labellisés au niveau national.

De plus, la typologie des bâtiments influence également les choix

des matériaux des menuiseries extérieures. Les fenêtres en PVC équipent majoritairement les logements collectifs alors que les fenêtres en aluminium et en bois équipent majoritairement les bâtiments résidentiels.

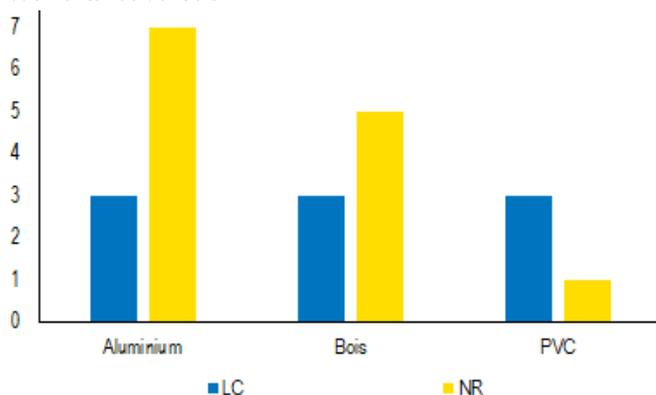


Figure 25 : Matériaux des fenêtres en fonction de la typologie des bâtiments

Quatrième enseignement : La surface vitrée des bâtiments représente en moyenne 20% de la surface habitable. Les surfaces vitrées exposées au Sud sont en moyenne les plus importantes (43%), devant les expositions nord (36%), ouest (13%) et est (8%).

Performance globale de l'enveloppe

Premier enseignement : Le coefficient Ubat qui traduit la qualité de l'enveloppe en quantifiant les déperditions par transmission à travers les parois opaques, les baies vitrées et les ponts thermiques atteint après travaux une moyenne de 0,55 W/m².K.

Pour les projets où l'état initial est connu, cela traduit une réduction des déperditions moyennes d'un facteur 3,1 après travaux.

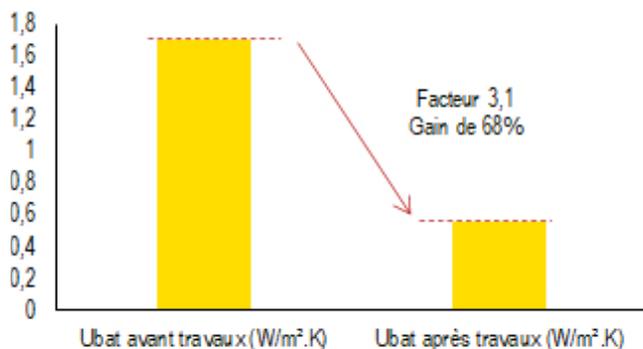


Figure 26 : Déperditions thermiques moyennes avant et après travaux

Deuxième enseignement : une valeur moyenne de Ubat identique pour les logements collectifs et les bâtiments tertiaires mais une dispersion plus importante dans le cadre de bâtiments tertiaires.

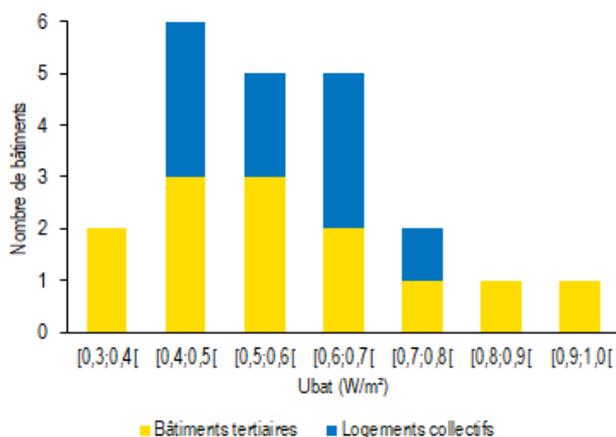


Figure 27 : Répartition de la valeur de Ubat après travaux pour les bâtiments tertiaires et les logements collectifs

Ubat varie de 0,31 à 0,93 W/m².K pour les bâtiments tertiaires alors que sa valeur varie entre 0,47 et 0,77 W/m².K pour les logements collectifs.

Troisième enseignement : Les pertes thermiques sont principalement dues aux baies (28%), aux murs extérieurs (25%) et aux ponts thermiques (22%).

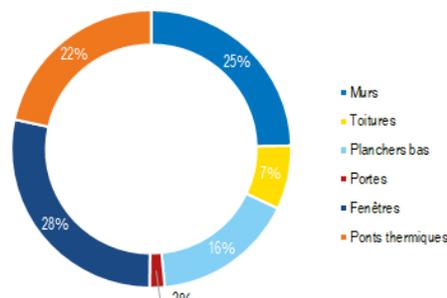


Figure 28 : Répartitions des pertes thermiques

Viennent ensuite les pertes liées aux planchers bas (16%) et aux toitures (7%) qui sont de moindre importance. Cela est en partie dû au fait qu'il n'y a pas de maison individuelle dans l'échantillon de projets étudiés, le panel de bâtiment étant uniquement composé de bâtiment tertiaires et de logements collectifs. Ces typologies de bâtiment sont principalement composés d'immeubles de plusieurs étages, ce qui réduit en proportion les pertes dues aux planchers bas et aux toitures. En effet, seuls 2 des 22 bâtiments du panel étudié ne comportent qu'un seul niveau.

Les pertes liées aux planchers bas restent supérieures aux pertes liées aux toitures. Cela est principalement lié au fait que ce poste de travaux n'est pas toujours traité, et que lorsque le plancher bas est isolé, les résistances mises en place (3,1 m².K/W) sont sensiblement moindres qu'en toiture (7,3 m².K/W) ; cf parties 2 et 3 du présent chapitre pour plus de détails.

Quatrième enseignement : Au-delà de la qualité des vitrages proposés (28% des pertes thermiques), le traitement des ponts thermiques demeure un enjeu majeur (22% des pertes thermiques).

Un résultat inattendu de cette étude est que leurs contributions n'évoluent pas suivant le type d'isolation. Ainsi, elles représentent une part similaire dans le cas d'une isolation par l'intérieur (21,4%) et dans le cas d'une isolation par l'extérieur (22%).

Cinquième enseignement : Une étanchéité à l'air de l'enveloppe performante.

Sur 7 opérations réceptionnées, l'étanchéité à l'air du bâtiment a été mesurée. Elle se caractérise par le coefficient Q4Pa-Surf, qui est estimée à 1,24 m³/h/m². A noter que 6 des 7 bâtiments sur lesquels une mesure a été réalisée sont certifiés ou en cours de certification.

A titre de comparaison, le label BBC-Effinergie Rénovation requiert que la valeur de Q4 ne dépasse pas 1,2 m³/h/m² dans le cas d'une rénovation complète de logements collectifs, et 1,5 m³/h/m² dans le cas de bureaux et bâtiments d'enseignements de moins de 5 000 m².



5. Equipements

Chauffage

Premier enseignement : Les systèmes au bois (36%), au gaz (27%) et thermodynamique (27%) sont les trois principaux modes de chauffage dans les bâtiments étudiés.

A noter que parmi les projets où le chauffage est assuré par un système thermodynamique, les pompes à chaleur référencées sont de type air-eau (n=2/6), eau-eau ou eau de nappe-eau (n=2/6) et air-air recyclé (n=1/6).

En ce qui concerne les chaudières gaz, des systèmes à condensations sont installés dans 5 des 6 projets où ce système a été mis en place.

Deuxième enseignement : La clé de répartition des systèmes de chauffage est influencée par l'origine des projets (certifiés ou issus d'une démarche régionale) et par la typologie des bâtiments.

Au sein du panel de bâtiments, les projets certifiés BBC-Effinergie Rénovation sont majoritairement chauffés au gaz (40%) et par PAC (36%) alors que les projets uniquement liés à une démarche régionale sont principalement chauffés par bois (75%).

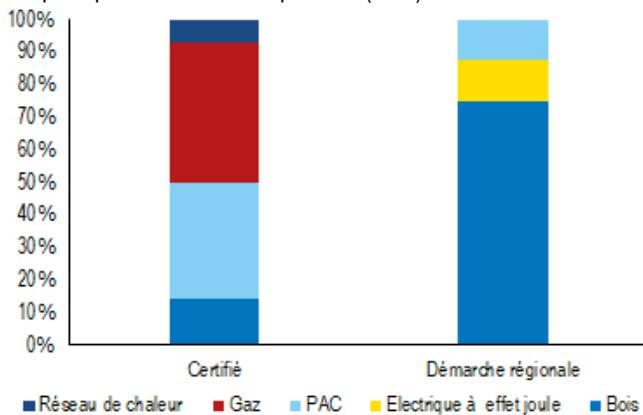


Figure 30 : Répartition de l'énergie de chauffage en fonction de l'origine du projet

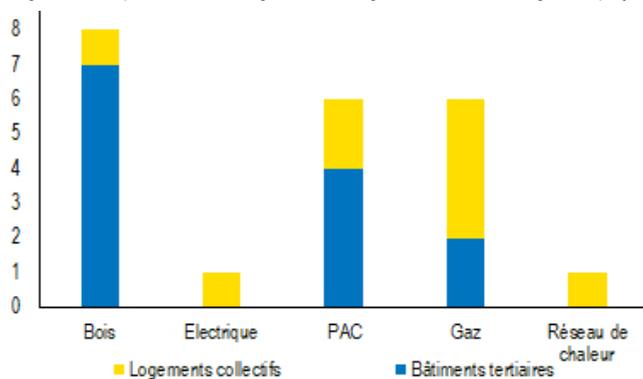


Figure 31 : Répartition de l'énergie de chauffage en fonction de la typologie des bâtiments

En ce qui concerne les typologies de bâtiments, les bâtiments tertiaires sont majoritairement alimentés par une chaudière bois (n=7/13), puis les systèmes thermodynamiques électriques de type PAC (n=4/13), le restant étant chauffé par des chaudières gaz (n=2/13).

Cette clé de répartition diffère de celle observée au niveau national pour les bâtiments BBC-Effinergie Rénovation, où les systèmes électriques thermodynamiques et les réseaux de chaleurs sont les plus fréquents (respectivement 41% et 42% de l'ensemble). La part du gaz et du bois est moindre dans les projets tertiaires certifiés avec respectivement 12% et 2% des bâtiments au niveau national.

Pour les logements collectifs, le gaz est l'énergie dominante que ce soit sur le panel étudié (n=4/9) ou au niveau national (73% des projets labellisés). On observe par ailleurs une plus grande diversité de solutions mises en œuvre dans les logements collectifs (réseaux de chaleur, électrique à effet Joule) que dans les bâtiments tertiaires.

Troisième enseignement : Les deux principaux modes d'émissions de chaleur sont les radiateurs à eau chaude et des ventilo-convecteurs.

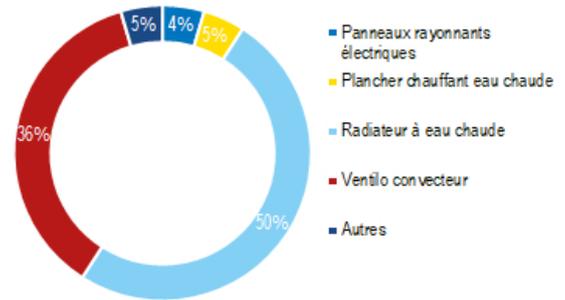


Figure 32 : Répartition des modes d'émission de la chaleur pour l'ensemble des bâtiments étudiés

Les radiateurs à eau chaude (50%, n=11/22), sont quasi-exclusivement alimentés par des chaudières gaz (n=5/11) et bois (n=5/11), en plus du projet alimenté par un réseau de chaleur. Les ventilo-convecteurs (36%, n=8/22) sont très majoritairement alimentés par un système électrique thermodynamique (n=5/8), et dans une moindre mesure par des chaudières bois (n=2/8) et gaz (n=1/8).

Eau chaude sanitaire (ECS)

Premier enseignement : Le principal mode de production d'ECS est le solaire thermique (35%, n=6/17), c'est une spécificité régionale. Les autres modes de production d'ECS sont l'électriques (29%, n=5/17), le gaz (24%, n=4/17), et les PAC (12%, n=2/17).

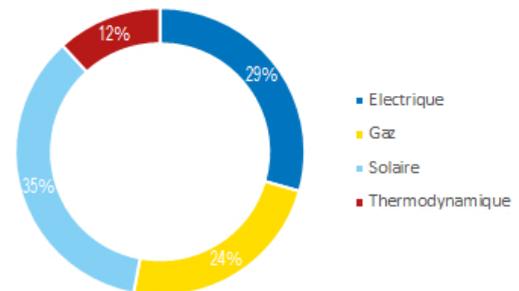


Figure 33 : Répartition de l'énergie d'ECS

Dans le panel de bâtiments étudiés, le solaire thermique est utilisé pour moitié au sein de bâtiments tertiaires et pour moitié au sein de logements collectifs. La part importante de solaire thermique est à comparer au niveau national où cette solution est mise en place dans seulement 6% des bâtiments labellisés BBC Effinergie Rénovation. L'appoint est systématiquement fait par l'énergie de production du chauffage, à savoir principalement le bois (n=4/6), au gaz (n=1/6) et via un réseau de chaleur (n=1/6).

A noter que 5 projets tertiaires ne sont pas alimentés par de l'eau chaude sanitaire.



Figure 34 : Rénovation du collège de l'Herminier - Architecte : Marie Parente
Architecte - Seyne sur Mer (83)

Deuxième enseignement : L'origine du projet (label ou projet lié à une démarche régionale) influence la clé de répartition de l'énergie d'ECS.

La principale différence porte sur la part plus importante de production d'ECS par solaire thermique dans le cas d'un projet lié à une démarche régionale 37,5% (n=3/8). Cette part plus importante est prise au détriment de solutions thermodynamiques, ainsi que par une part moindre de solutions gaz et électriques. Ce constat est également valable à l'échelle nationale.

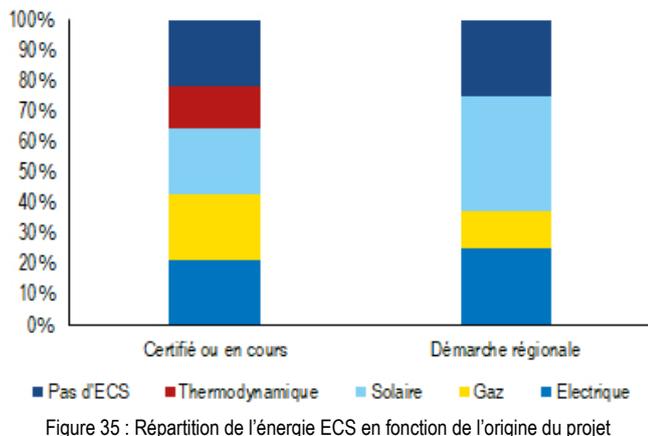


Figure 35 : Répartition de l'énergie ECS en fonction de l'origine du projet

Ce résultat est proche des tendances observées à l'échelle nationale (85% hygro B, 15% double flux, 5% autres).

Troisième enseignement : L'origine du projet (démarche régionale ou label) n'impactent pas la répartition des systèmes de ventilation sur l'échantillon étudié.



Figure 38 : Restructuration - Hôtel des postes Colbert – Architecte : Architecture & Patrimoine - Marseille (13)

Ventilation

Premier enseignement : Les systèmes de ventilation double flux sont très majoritaires au sein des bâtiments tertiaires où ils sont mis en place dans 62% des bâtiments (n=8/13).

Par ailleurs, l'efficacité théorique moyenne de l'échangeur des ventilations double flux est de l'ordre de 79%.

Les autres opérations sont équipées de ventilation simple flux (n=2/13), hygroréglable de type A ou naturelle par conduit (n=1/13).

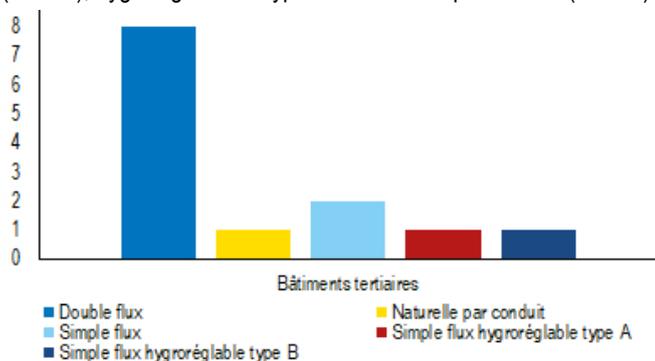


Figure 36 : Répartition des systèmes de ventilation installés dans les bâtiments tertiaires

Deuxième enseignement : les systèmes de ventilation simple flux hygroréglable de type B sont très majoritaires dans les logements collectifs où ils sont mis en place dans 78% des bâtiments (n=7/9).

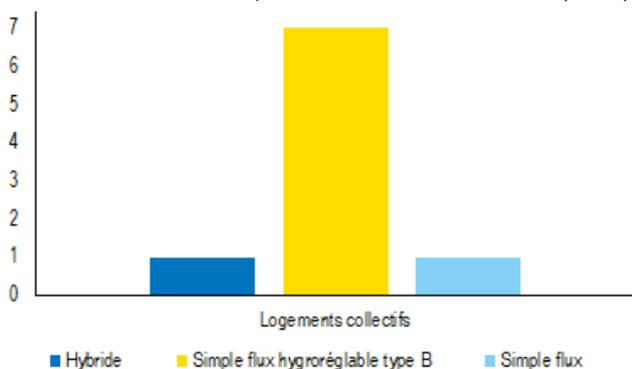


Figure 37 : Répartition des systèmes de ventilation installés dans les logements collectifs

Refroidissement

Premier enseignement : De manière globale, 27% (n=6/22) des projets issus de l'échantillon sont équipés de solution de refroidissement actives.

Deuxième enseignement : Un seul bâtiment est refroidi activement parmi les 9 bâtiments de logements collectifs étudiés, alors qu'un système de refroidissement a été mis en place dans près de la moitié des bâtiments tertiaires (n=6/13).

En ce qui concerne les bâtiments tertiaires, ce taux d'installation de système de refroidissement actif est faible comparé au projets labellisés BBC Effinergie Rénovation au niveau national, qui en sont équipés à 88%.

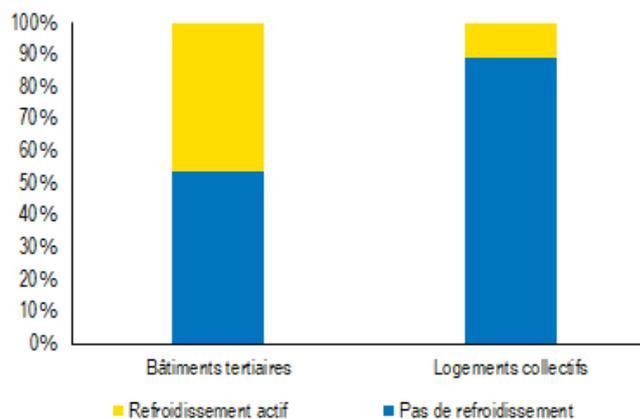


Figure 39 : Taux d'installation de système de refroidissement suivant le type de bâtiment

Cette différence est encore plus marquée au niveau national, où seuls 0,7% des projets de logements collectifs labellisés BBC Effinergie Rénovation sont équipés d'un système de refroidissement actif contre 91% des bâtiments tertiaires.

Troisième enseignement : Une solution thermodynamique couplée à un soufflage d'air froid a été proposée dans 100% des bâtiments refroidis activement. Au niveau national, 77% des bâtiments refroidis sont équipés de solution thermodynamique, les autres (23%) sont raccordés à un réseau de froid urbain.

Quatrième enseignement : L'origine du projet semble impacter à la marge l'installation de solutions de refroidissement.

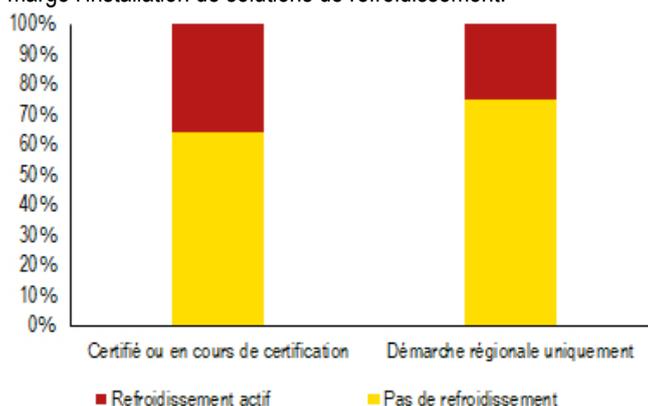


Figure 40 : Taux d'installation de système de refroidissement suivant l'origine des bâtiments

Parmi les bâtiments étudiés en Région Sud, le taux d'installation de système de refroidissement est de 25% (n=2/8) pour les bâtiments uniquement liés à une démarche régionale alors qu'il atteint 36% (n=5/14) pour les bâtiments certifiés ou engagés dans une certification. Pour les bâtiments tertiaires les plus à même d'utiliser un système de refroidissement, on retrouve cette tendance à l'échelle nationale où elle est nettement plus accentuée : 13,5% de taux d'installation de solution de froid pour les bâtiments issus de démarches régionales contre 89% pour les projets certifiés.

Cette tendance est influencée par les critères d'exemplarité des bâtiments tels que définis dans le chapitre 9, qui proscriit l'utilisation de refroidissement actif.

Eclairage

En cas de changement du système d'éclairage, des installations de type LED sont systématiquement mises en place. Il n'y a pas de données disponibles sur la part de bâtiment où cela a été réalisé. A noter qu'il est possible d'effectuer des études d'éclairage comme cela par exemple été réalisé pour le bâtiment comme cela a été réalisé pour le projet Now Marseille (13). Ce type d'étude permet d'éclairer la maîtrise d'ouvrage sur les choix à réaliser en matière d'éclairage, en lien avec les sujets qui s'y rattache (confort visuel, consommation énergétique, confort d'été, etc.)

Photovoltaïque

Premier enseignement : Seuls deux projets étudiés sont équipés de panneaux photovoltaïques, un bâtiment de logements collectifs et un bâtiment tertiaire.

Deuxième enseignement : La puissance et le dimensionnement des installations photovoltaïques est du même ordre de grandeur, à savoir 30 et 35 m², pour une puissance crête de respectivement 3,5 et 4,5 kWc.



Figure 41 : Rénovation - Espace culturel l'Etoile – Architecte : D+P Architectes - Chateaufort (13)



6. Performance énergie-carbone en exploitation

Cette partie porte sur les consommations énergétiques et les émissions de GES liées à l'exploitation du bâtiment sur les 5 usages réglementaires. Il est également possible d'actionner des leviers en amont durant la phase chantier. A titre d'exemple, la maîtrise d'ouvrage du projet de réhabilitation de l'Hôtel des Postes Colbert situé à Marseille (13), a opté pour une approche énergétique plus large en faisant le choix d'un fournisseur d'électricité 100% renouvelable pour alimenter le chantier et les différentes bases-vie lors de la rénovation du bâtiment. De plus, un tableau de suivi a permis de comptabiliser les émissions de GES.

Consommation énergétique

La consommation énergétique réglementaire¹ moyenne après travaux est de **68,8 kWh/m².an**. Elle atteint 62 kWh/m².an pour les logements collectifs et 73,5 kWh/m².an pour les bâtiments tertiaires

Pour les bâtiments où l'état des consommations énergétiques avant travaux est disponible (n=14/22), les consommations sont divisées par **un facteur 3,5 soit des économies d'énergie de 72%**.

En moyenne, les projets référencés ne se contentent pas d'atteindre le niveau du label BBC Effinergie Rénovation, mais vont au-delà². En effet, la consommation se situe **14% en dessous du seuil du label BBC Effinergie Rénovation** (17,6% pour les logements collectifs, 11,9% pour les bâtiments tertiaires), ce qui équivaut à un écart de -15,3 kWh/m².an par rapport à l'exigence du label. Cette tendance également constatée au niveau national sur les logements collectifs³ et les maisons individuelles⁴ labellisée).

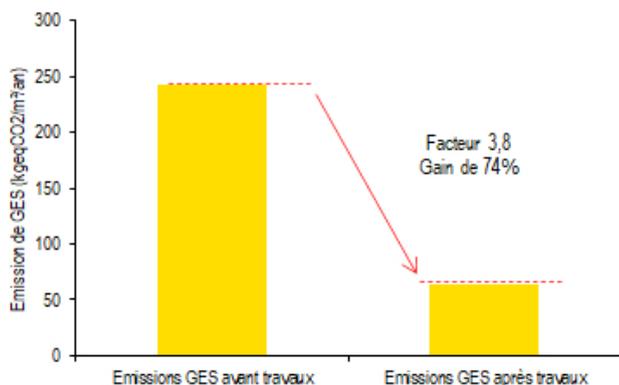


Figure 43 : Consommation énergétique avant/après travaux en logements collectifs

Par ailleurs, les économies d'énergie réalisées varient en fonction de l'énergie de chauffage. Elle fluctue d'une réduction d'un facteur 4,6 pour le projet chauffé au bois à 2,8 pour celui chauffé par un réseau de chaleur. La taille de l'échantillon ne permet pas de conclure sur l'influence du système de chauffage. D'autant plus que la zone climatique et l'altitude impactent les objectifs à atteindre dans le cadre des projets labellisés.

¹Cette consommation est égale à la somme des consommations des 5 usages réglementaires déduite de l'éventuelle production locale d'électricité

²Exigence : 80 kWh/m².an pondéré de l'altitude et de la zone climatique pour les logements collectifs, et de 40% inférieure au Cep de référence pour les bâtiments tertiaires.

³La rénovation basse consommation des logements collectifs – 2022 – Effinergie – Observatoire BBC

⁴La rénovation basse consommation des maisons individuelles – 2021 – Effinergie – Observatoire BBC

Energie	Nb	Cep avant	Cep	Gain (%)	Facteur max
Bois	2	170,1	38,6	76,6	4,6
Electrique	1	334,3	79,5	76,2	4,2
PAC	5	358,2	95,4	69,2	4,4
Gaz	5	157,7	45,3	64,6	3,4
Réseau de chaleur	1	145,5	52,5	63,9	2,8

Figure 44 : Consommation énergétique par énergie de chauffage

En ce qui concerne les logements collectifs, les consommations les plus importantes sont celles relatives à la production d'ECS (45%) et au chauffage (36%) qui représentent de loin les deux principaux postes de consommation énergétique (81% après travaux). La part d'ECS peut varier de 14% à 68% en fonction de la présence d'une installation d'ECS solaire. L'éclairage est le troisième poste de consommation : il représente 12% de la consommation énergétique. La ventilation et les auxiliaires représentent respectivement 10% et 3% des consommations réglementaires.

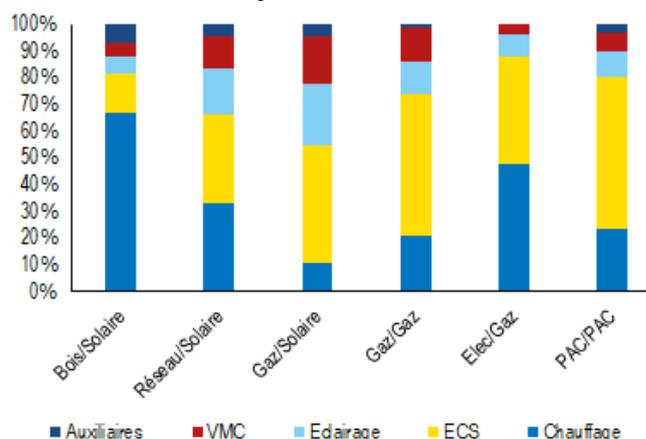


Figure 45 : Répartition des consommations d'énergie des logements collectifs suivant l'énergie de chauffage et d'ECS

Le constat est très différent dans les bâtiments tertiaires, où les consommations sont principalement dues à l'éclairage (29%) devant la ventilation (25%) et le chauffage (23%). La production de froid est faible en moyenne (12%) car seuls 7 des 13 projets sont équipés d'un système de refroidissement, mais elle peut représenter 9% à 40% des consommations dans ces projets-là.

De même, la production d'ECS est faible en moyenne (4%) car seuls 3 des 13 projets sont équipés d'un système de refroidissement, mais elle peut représenter 9% à 40% des consommations dans ces projets-là. Les auxiliaires représentent en moyenne 7% des consommations totales.

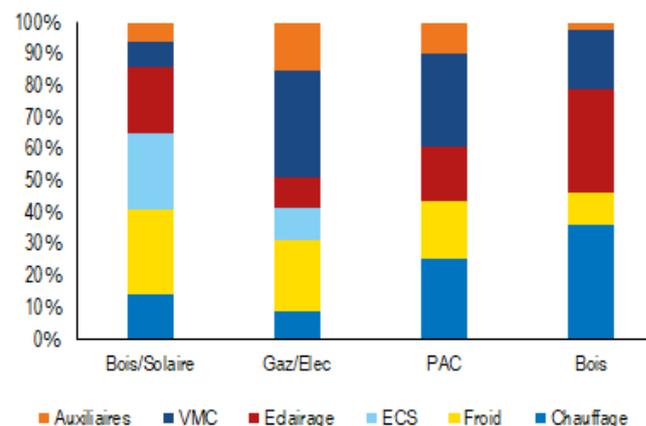


Figure 46 : Répartition des consommations d'énergie des bâtiments suivant l'énergie de chauffage et d'ECS

Emissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) des bâtiments du panel ont été calculées en se basant sur les consommations énergétiques des 5 usages réglementaires, l'utilisation des coefficients d'émissions de GES par énergie issus de l'expérimentation E+C- et sur une durée d'un an. Elles sont exprimées en $\text{kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$. Cette étude ne porte pas sur une analyse de cycle de vie complète.

Après rénovation, les émissions de GES se situent en moyenne à $4 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$. En ce qui concerne les bâtiments dont les émissions de GES avant travaux sont connues ($n=14/22$), elles sont en moyenne de $20,9 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$ contre $5,1$ avant travaux, soit une réduction moyenne des émissions de GES par un facteur 4,1.

Chaque rénovation étudiée génère systématiquement une réduction des émissions de GES après travaux, à l'exception d'un projet étant passé d'un chauffage électrique par effet Joule à une chaudière gaz qui a vu ses émissions de GES légèrement augmenté malgré une rénovation globale (+4,4%, de $10,4$ à $10,9 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$).

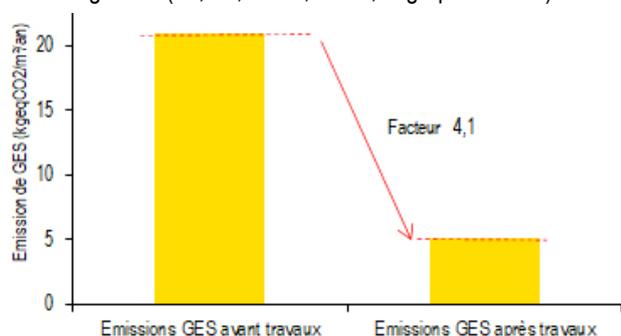


Figure 47 : Emission des GES avant/après travaux en logements collectifs

De manière générale, les niveaux d'émission de GES dépendent de l'énergie de chauffage utilisée après travaux.

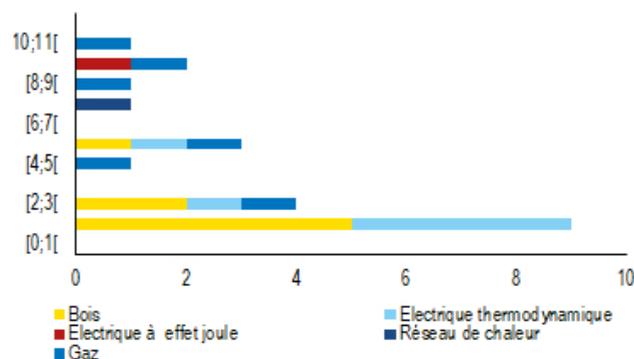


Figure 48 : Emission des GES après travaux par énergie de chauffage

Ainsi, les rénovations basse consommation chauffées au bois ($2,1 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$, $n=8$) et par PAC ($2,3 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$, $n=6$) sont moins émettrices de GES que celles des bâtiment chauffées au gaz ($6,9 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$, $n=6$), raccordés à des réseaux de chaleur ($7,5 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$, $n=1$) et chauffés par des émetteurs électrique à effet Joule ($9,3$, $n=1 \text{ kgéqCO}_2/\text{m}^2/\text{an}$).

Energie chauffage avant travaux	Energie chauffage après travaux	Nb	Facteur de réduction des émissions de GES
Effet Joule	PAC	2	6,4
	Effet Joule	1	1,1
Gaz	Gaz	1	0,96
	Gaz	4	3,6
Fioul	PAC	1	6,8
PAC	Bois	2	38,6
Réseau de chaleur	PAC	1	6,5
Réseau de chaleur	Réseau de chaleur	1	3,7

Figure 49 : Facteur de réduction des émissions de GES en logements collectifs

Enfin, le facteur de réduction des émissions de GES dépend de l'énergie de chauffage utilisée avant et après travaux.

Dans le cas des rénovations avec une conservation de l'énergie de chauffage, le facteur de réduction des émissions de GES est moyenne de 3,63. Lorsque l'énergie de chauffage est modifiée, ce facteur varie de

- 0,96 lors de l'installation d'une solution gaz en lieu et place d'un chauffage à l'effet joule,
- A 36,6 lorsqu'une chaudière bois remplace la chaudière fioul existante.





7. Bouquets de travaux

Une rénovation BBC-Effinergie ou réalisée dans le cadre d'une démarche régionale implique une vision globale du projet et la mise en place d'un bouquet de travaux cohérent.

Ce bouquet se compose d'actions de rénovation sur l'enveloppe et les équipements. Ainsi, les travaux peuvent porter sur :

- 4 lots de l'enveloppe : murs extérieurs, toiture, plancher bas et fenêtres.
- 3 lots sur les équipements : Chauffage, ventilation, ECS. L'éclairage étant pris de manière forfaitaire dans la méthode de calcul réglementaire, ce lot n'est pas pris en compte dans l'étude.

Ainsi, chaque bouquet de travaux peut se composer d'interventions sur un à sept lots.

En parallèle, des installations solaires (ECS et production locale d'électricité) peuvent être mise en œuvre sur certains projets.

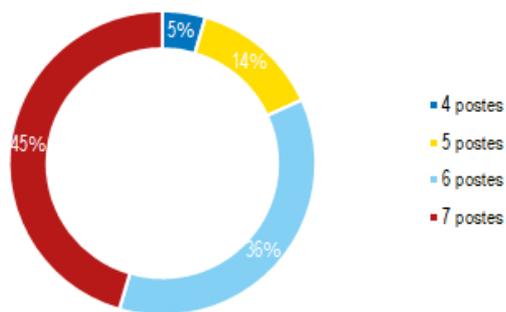


Figure 51 : Répartition des bouquets de travaux en fonction du nombre de postes traités

L'échantillon de bâtiments étudiés (n=22), 95% des projets ont été rénovés sur la base de bouquets composés de 7 lots (45%) ou de 6 lots (36%) ou 5 lots (14%).

8 bouquets de travaux différents ont été mis en œuvre dans le cadre des rénovations étudiées.

Le principal bouquet de travaux (45%) mis en œuvre se compose d'interventions sur l'ensemble des lots, à savoir une rénovation des murs extérieurs, de la toiture, du plancher bas, des baies, du chauffage, de la ventilation et de l'ECS. Par ailleurs, 30% de ces projets sont équipés d'une production d'ECS solaire.

Le second bouquet de travaux (23%) mis en œuvre se compose de travaux sur l'ensemble des lots sauf sur le plancher bas qui n'a pas été rénové.

Au final, ces deux bouquets de travaux différents permettent de couvrir 68% des projets rénovés.

A noter que le système de ventilation a été remplacé pour l'ensemble des bâtiments. Les murs extérieurs n'ont pas été traités dans un seul projet, tout comme la toiture, et les fenêtres. Enfin, le système de chauffage n'a pas été remplacé dans deux projets.





8. Données économiques

Avant-propos

L'Observatoire BBC a pu constater au cours de ces dernières années

- Une appétence croissante des acteurs du bâtiment pour l'identification des coûts associés aux travaux de rénovation.
- Une faible propension des acteurs à communiquer les informations économiques de leur projet afin d'alimenter un retour d'expérience national, à l'exception des lauréats des dispositifs régionaux dont le paiement des aides financières est conditionné par la communication des décompositions économiques et des factures.
- L'absence d'une décomposition économique « standardisée » des rénovations permettant :
 - D'identifier les coûts relatifs à l'opération, aux travaux de rénovation et aux travaux de rénovation énergétique.
 - De comparer les opérations entre elles.
- La difficulté pour les artisans d'élaborer des devis et des factures en conformité avec une législation complexe et indigeste.

En conséquence, la taille de l'échantillon étudié est relativement petite (n=9 dont 7 bâtiments tertiaires et 2 logements collectifs).

Une décomposition des travaux de rénovation énergétique a été élaborée par Effinergie en concertation avec les membres du comité technique de l'Observatoire BBC (cf [méthodologie d'analyse des coûts de rénovation](#)). On retrouve sur l'Observatoire régional des bâtiments exemplaires (www.observatoirebbc.org/paca) cette analyse économique, pour quelques projets, mais les détails de cette décomposition n'est pas systématiquement complet pour les projets du panel. Les coûts présentés ci-dessous ne sont donc ni décomposés en fonction de la méthodologie mentionnée ci-dessus, ni restreints aux travaux de rénovation énergétique.

Sont pris en compte : Les coûts d'ingénierie (architecte, bureau d'étude, assistance à maîtrise d'ouvrage, économiste, étanchéité à l'air, etc.), d'achats (équipements, meubles, cuisines, etc.), et les dépenses connexes (notaire, annonce légale, publicité, assurance, signalétique, etc.). Les dépenses associées aux Voirie et Réseau Divers (VRD) ne sont pas incluses dans ces données.

Premier enseignement : Le montant moyen des travaux hors VRD est de 1 682 € HT/m² surface réglementaire. Ce coût moyen est de 639 € HT/m² pour les rénovations étudiées, et de 2 517 € HT/m² pour les rénovations couplées à une extension.

Montant des travaux hors VRD (HT/m ²)	Nb.	Moyenne	Min.	Max.
Rénovation	4	639 €	262 €	963 €
Rénovation + Extension	5	2 517 €	1 150 €	3 499 €

Figure 53 : Montant des travaux des bâtiments rénovés et des bâtiments où une rénovation a été couplée à une extension

Deuxième enseignement : Une grande disparité de coût existe entre les différents projets de rénovation, dont le montant est compris entre 262 € et 963 € HT/m² pour les rénovations, et entre 1 150 € et 3 499 € HT/m² pour les rénovations couplées à des extensions.

La dispersion du montant des travaux de rénovation énergétique est la conséquence de l'hétérogénéité des travaux engagés (rénovation, extension), des typologies de bâtiments (tertiaire, logements

collectifs) des décompositions économiques communiquées et de la difficulté à identifier dans certains lots la part énergétique.

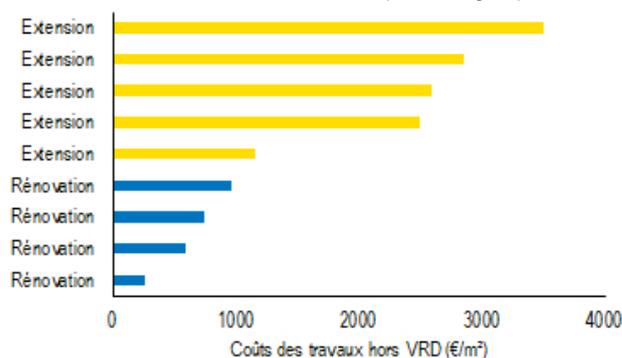


Figure 54 : Montant des travaux de rénovation énergétique hors VRD (€ HT/m²) pour 9 bâtiments du panel

Les données disponibles pour ce panel de bâtiments ne permettent pas de décomposer les coûts de rénovation en fonction de leurs origines. Le constat observé au niveau national pour les logements collectifs peut néanmoins être partagé pour les bâtiments labellisés BBC Effinergie Rénovation : en moyenne, 70% du montant des travaux de rénovation énergétique sont dédiés à l'amélioration de l'enveloppe. Le remplacement des équipements de chauffage, de ventilation et d'ECS représente 30% du montant des travaux de rénovation énergétique.

A noter que même en l'absence d'extension, les rénovations peuvent inclure des restructurations importantes de bâtiments, avec un changement d'usage. C'est par exemple le cas des anciens cinémas de la commune de Chateaufort (13) qui ont été restructurés afin de créer l'Espace Culturel l'Etoile pour un coût moyen de 936 € HT/m². Des projets sont également rénovés après avoir été délaissés durant une longue période, comme un ancien hôtel abandonné depuis 10 ans sur la commune de Pra Loup (04) qui a été réhabilité pour un coût de 738 € HT/m².

Les cinq projets couplant rénovation et extension, dont le coût total est analysé sont les bâtiments Le Manier à Marseille (13), le siège du Parc Naturel Régional des Alpilles situé à Saint-Rémy-de-Provence (13), le Presbytère de Puy Sanières (05) le bâtiment du SIVOM du littoral des Maures et la Maison de la Nature situés à Cavalaire-Sur-Mer (83).





Figure 55 : Rénovation Résidence Micocoulier – Logirem - Marseille (13)

Troisième enseignement : Pour le panel de bâtiments étudiés, le montant des travaux de rénovation énergétique n'est pas plus élevé pour les bâtiments construits avant 1948 (1 417 € HT/m² - 5 projets) contre ceux construits après 1948 (2014 € HT/m² - 4 projets)

Quatrième enseignement : une autre approche économique consiste à estimer l'investissement (€/m²) à réaliser pour économiser 1 kWh_{ep}/m².an. Il peut être estimé en analysant le ratio entre

- le montant de la rénovation hors VRD par m²
- la différence des consommations énergétiques avant et après travaux.

Parmi le panel de bâtiment étudié, l'échantillon permettant d'avoir accès à l'état initial des consommations énergétiques et aux coûts de la rénovation énergétique que pour 2 projets de rénovation. L'investissement pour économiser 1 kWh_{ep}/m².an y est estimé à 1,03 € HT, 2,57 € HT.

Externalité : au-delà des enseignements économiques présentés dans cette étude, la rénovation basse consommation génère des externalités positives à valoriser telles que :

- La réduction des consommations énergétiques permettant de financer, tout ou une partie, les travaux via de l'ingénierie financière
- L'anticipation et la préservation des hausses des coûts de la rénovation énergétique.
- L'augmentation de la surface de vie réellement habitable avec la suppression des parois froides.
- L'augmentation de la valeur patrimoniale du logement⁵ avec

une plus-value variant de 6% à 9% pour les appartements avec une étiquette A ou B.

- Un logement plus sain avec une enveloppe thermique et un système de ventilation performants, réduisant les risques de pathologies⁶ (respiratoires, ostéo-articulaires, pathologies hivernales), améliorant la santé des habitants, notamment ceux en situation de précarité énergétique et réduisant les dépenses de santé.
- L'amélioration du confort au quotidien (thermique, acoustique, visuel, ...)
- La réduction des émissions de gaz à effet de serre à l'échelle du bâtiment mais également au niveau national.
- La création d'emplois locaux non délocalisables. A titre d'exemple, la Direction Régionale Grand Est de l'ADEME⁷ a estimé que le secteur de la rénovation des bâtiments pourrait créer 43 750 Equivalent Temps Plein supplémentaires d'ici 2050 à l'échelle régionale.

⁵ La valeur verte des logements en 2019 – Publication : Septembre 2020 - Conseil supérieur du notariat

⁶ Etude de la Fondation Abbé Pierre sur l'impact de la précarité énergétique sur la santé

⁷ Transition énergétique en Grand Est : quels impacts sur l'emploi local – Publication novembre 2020 – Direction Régionale de l'ADEME Grand Est

9. Les bâtiments exemplaires

Le contexte

La direction régionale de l'ADEME en Provence-Alpes-Côte d'Azur et la Région, en application de son cadre d'intervention « Bâtiments Durables Transition Énergétique », ont co-défini des critères d'exemplarité qui doivent tous être atteints pour figurer dans cette sélection. Il s'agit de promouvoir une approche globale, multicritères cherchant la performance sur chaque champ de la Qualité Environnementale du Bâti (QEB).

Les objectifs

 Favoriser l'expérimentation et l'innovation

 Diffuser les pratiques exemplaires

 Faire émerger des bâtiments intégrant un niveau de performance maximal sur tous les champs de la QEB

 Un bâtiment très performant énergétiquement, ayant recours aux énergies renouvelables

 Un bâtiment contribuant à un aménagement durable : connecté aux transports en commun, favorisant les modes de déplacement doux, végétalisé pour lutter contre les îlots de chaleur

Quelques repères & chiffres

Isolant des toitures
 $R > 7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$

Des menuiseries thermiquement performantes
 $U_w < 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Une production locale d'énergie renouvelable*

Limitier les courants d'air parasites via une bonne perméabilité à l'air

$Q_{4Pa\text{-surf}} < 0,8 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$
en construction

$Q_{4Pa\text{-surf}} < 1,2 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$
en rénovation

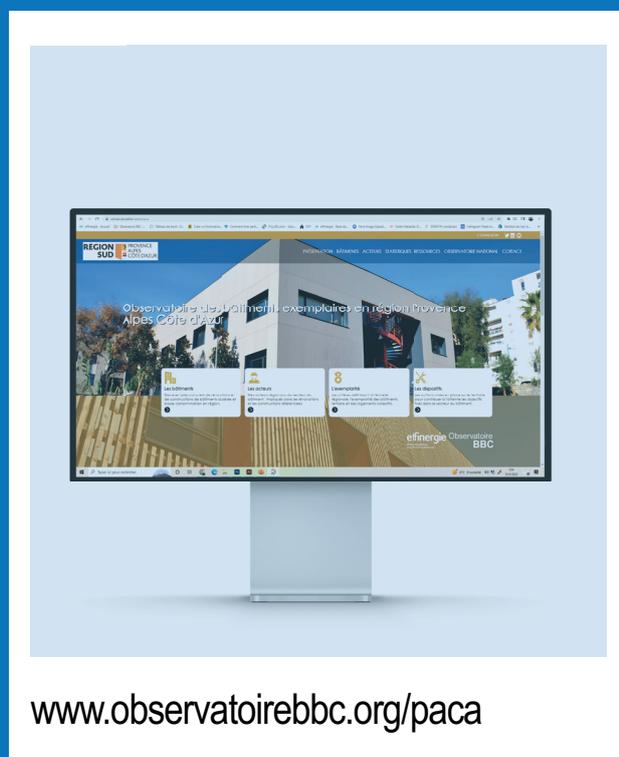
Un niveau de performance exigeant

En rénovation
Niveau BBC Rénovation
hors production photovoltaïque

En construction
Anticiper la réglementation

*pas de membranes souples pour le photovoltaïque

Contact Effinergie
observatoire.paca@effinergie.org
Tél : 04 99 67 01 00



www.observatoirebbc.org/paca

L'OBSERVATOIRE DES BÂTIMENTS EXEMPLAIRES EN RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Un outil numérique au coeur de la transition énergétique et environnementale mettant à disposition des ressources gratuites pour accompagner les acteurs de la filière du bâtiment